

УДК 621.824:624.046.001.5

Артюх М. Г.

ПРИБЛИЖЕННАЯ ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВАРНЫХ ВАЛОВ

Сварные валы, в особенности пустотелые с поперечным сечением в виде кольца, встречаются в машиностроении довольно часто. Это объясняется, с одной стороны, большой разницей в прочности валов с открытым и замкнутым контуром поперечного сечения, с другой стороны — хорошим развитием технологии сварки и достаточной прочностью сварных соединений.

Большинство валов изготавливают из пластичных материалов, свойства которых могут быть в первом приближении представлены диаграммой Прандтля.

Для таких валов оценка несущей способности может быть выполнена по предельному состоянию [1].

Наиболее простая методика предполагает вычисление момента сопротивления пластическому кручению как удвоенного объема фигуры равного ската, построенной на поперечном сечении вала. При этом предварительно строят систему линий разрыва [1]. Для сечения в виде многосвязной области может быть применен метод понижения связности, предложенный в работе [2].

Наибольший интерес для практики представляет исследование несущей способности сварных валов при различных дефектах сварного шва.

На рис. 1 показано поперечное сечение сварного вала. В идеальном варианте шов занимает всю толщину стенки трубы, материал шва равнопрочен с основным материалом вала.

Такой вал не отличается по прочности от цельнокатаного вала того же поперечного сечения. Для этого случая фигура равного ската представляет собой усеченный конус. Сечение данной фигуры представлено на рис. 1.

В реальных условиях сварной шов может иметь различные дефекты. Наиболее характерными дефектами являются непровары. Непровар по толщине стенки трубы приводит к появлению "трещины" или разреза на внутренней (реже на внешней) стороне трубы. Расчетная схема поперечного сечения при внутреннем непроваре представлена на рис. 2.

Сечение вала представляет собой двухсвязную область. Наружный контур области — окружность диаметра D ; внутренний — окружность d с прямолинейным

выступом, равным глубине непровара δ , причем $0 < \delta < \frac{D-d}{2}$.

Чтобы представить себе фигуру равного ската для данного поперечного сечения, нужно построить систему линий разрыва. По методике, изложенной в работе [2], проводим вспомогательную окружность (показана пунктиром на рис. 2) на расстоянии от внешнего контура, равном минимальному расстоянию между контурами. В результате получаем две фигуры — сплошное кольцо и разрезанное кольцо. Для сплошного кругового кольца линий разрыва нет, а фигура равного ската представляет собой усеченный конус; для разрезанного кольца, как и для длинного прямоугольника, линия разрыва находится посередине, а фигура равного ската — двухскатная крыша.

На рис. 3 показаны сечения полученной фигуры плоскостями, нормальными к основанию и включающими ось симметрии конуса. Сравнивая сечения на рисунках 3б и 3в, можно дать приближенную оценку ослабления, вызванного внутренней трещиной.

Исходный объем фигуры равного ската (для неослабленного сечения) равен

$$V_0 = \frac{\pi(D^3 - d^3)}{24} \quad (1)$$

где, D и d — соответственно внешний и внутренний диаметры кольца.

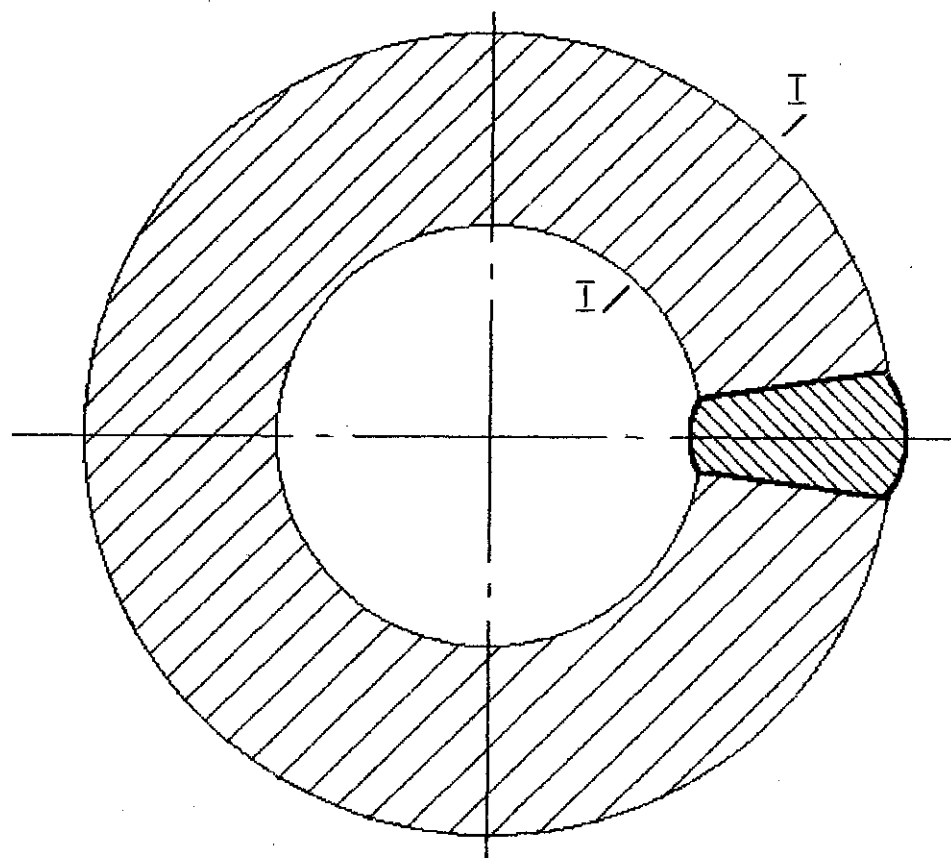


Рисунок 1 – Схема сварного вала

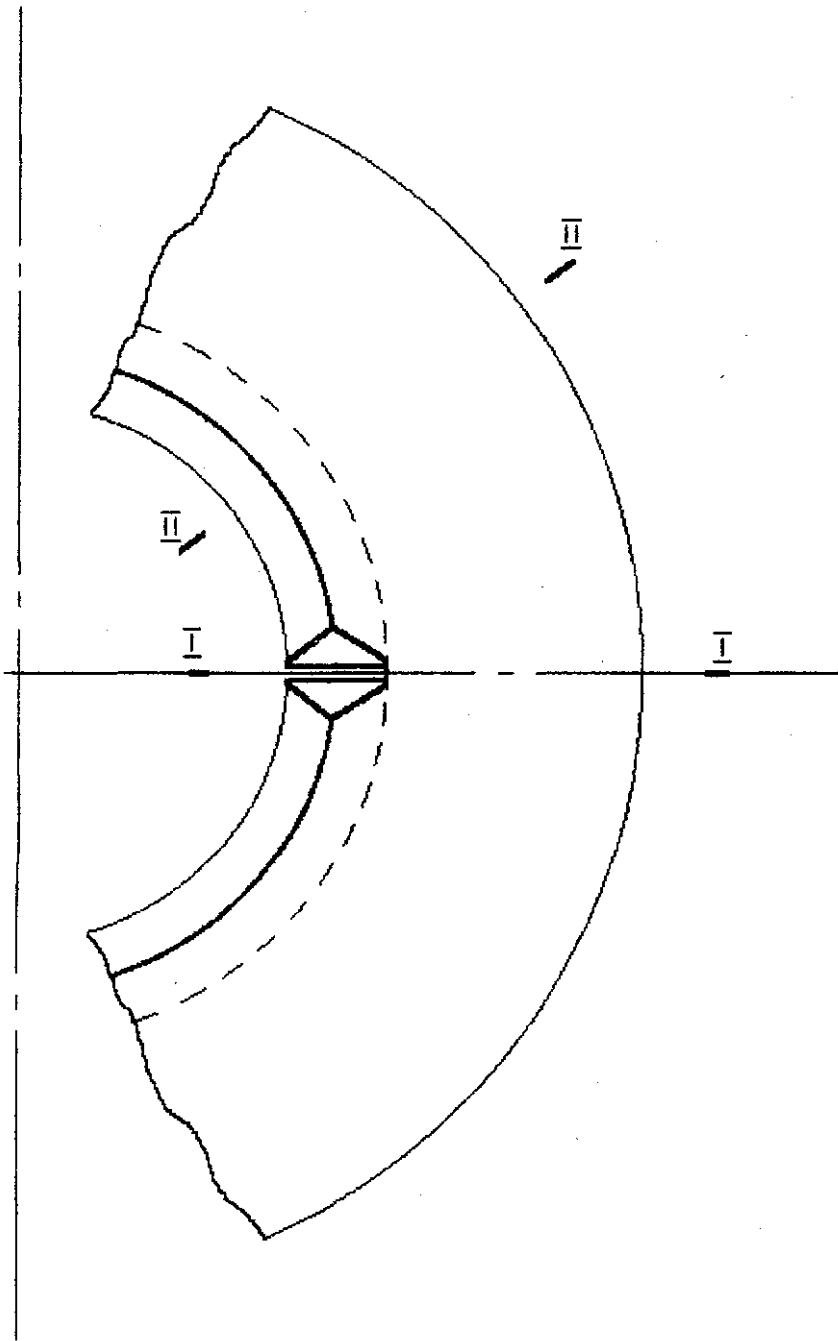
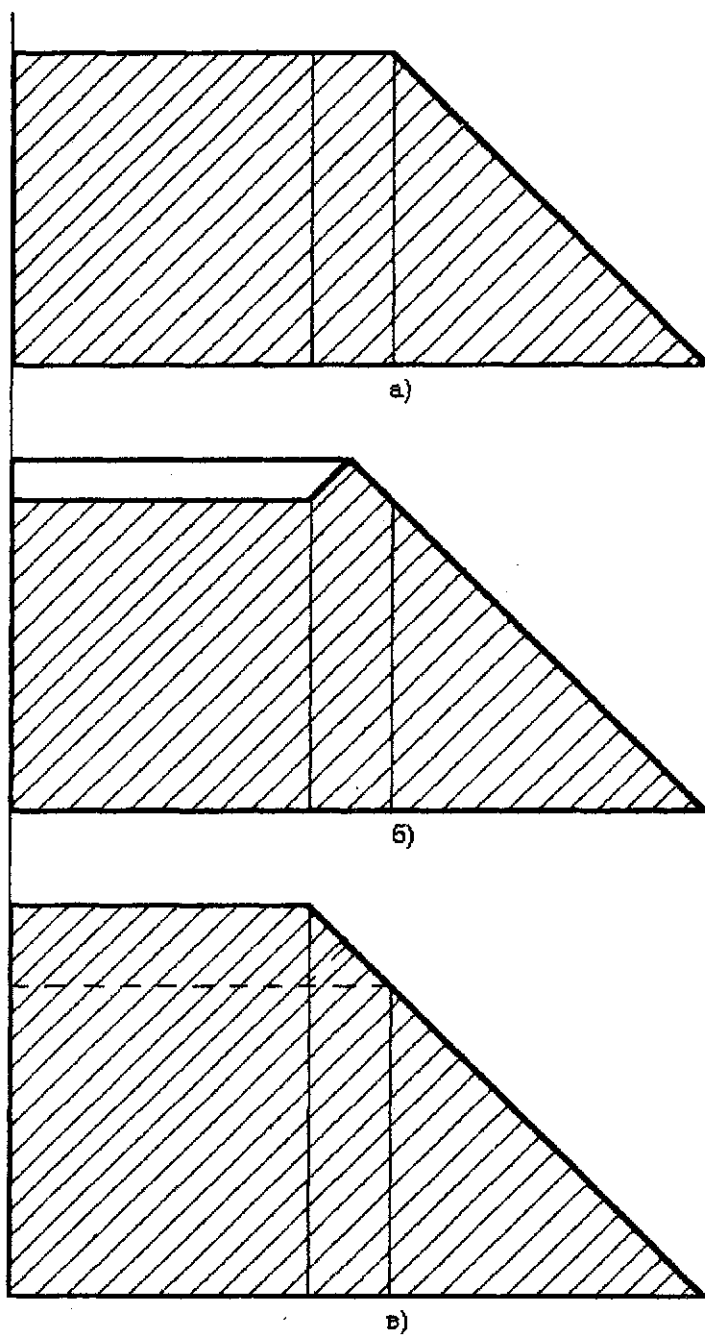


Рисунок 2 - Вал с внутренним разрезом



- а) в сеч. I-I рис. 2;
 б) в сеч. II-II рис. 2;
 в) в сеч. I-I рис. 1.

Рисунок 3 – Поперечное сечение фигур равного ската.

Для сечения, ослабленного внутренней трещиной, из этого объема надо вычесть:

- 1) объем цилиндра диаметром d и высотой δ , равной глубине трещины:

$$V_1 = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \delta \quad (2)$$

- 2) объем кольцевой фигуры с поперечным сечением в виде треугольника площадью $F_2 = \frac{1}{4}\delta^2$ и диаметром (по центрам тяжести этих треугольников $(d + \delta/6)$)

$$V_2 = \frac{\pi \left(d + \frac{\delta}{6}\right) \delta^2}{4} \quad (3)$$

- 3) объем фигуры в районе трещины

$$V_3 = \frac{\delta^3}{12}$$

Тогда ослабленное внутренней трещиной сечение имеет прочность, пропорциональную объему

$$V^* = V_0 - V_1 - V_2 - V_3 \quad (4)$$

Поскольку $d \gg \delta$, то соответственно получим $V_1 \gg V_2 \gg V_3$.

Отсюда вытекает, что для инженерных расчетов в первом приближении можно ограничиться учетом величины V_1 , а в более точных расчетах или в случае $d \approx \delta$ (толстостенная труба с глубокой трещиной) можно дополнительно учесть величину V_2 . Что касается объема V_3 , то им можно пренебречь во всех инженерных расчетах. Окончательно формулу для момента сопротивления пластическому кручению можно записать в виде:

$$W_{пл.кр.} = \frac{\pi}{12} (D^3 - d^3) - \frac{\pi \delta}{2} \left[d^2 + d\delta + \frac{\delta^2(2 + \pi)}{6\pi} \right] \quad (5)$$

В зависимости от конкретных размеров сечения можно отбросить третье слагаемое в скобке, а иногда и второе.

Рассмотрим конкретный пример:

$$D=250 \text{ мм}; \quad d=210 \text{ мм}; \quad \delta=3 \text{ мм}.$$

Тогда по формуле (5) получим:

$$W_{пл.кр.} = (1666 - 207,8 - 2,97 - 0,025), \text{ см}^3 \quad (6)$$

Из этих чисел следует, что общее ослабление данного вала из-за непровара составляет 12,6%. Естественно, что этой величиной пренебрегать нельзя. В то же время третье слагаемое составляет 0,18%, и этим числом вполне можно пренебречь; четвертое слагаемое еще на два порядка меньше; этим слагаемым в формулах (5) и (6) можно пренебречь практически во всех случаях.

В большинстве случаев пригодной будет формула:

$$W_{пл.кр.} = \frac{\pi}{12} (D^3 - d^3) - \frac{\pi d \delta}{2} (d + \delta) \quad (6)$$

Ниже рассматривается второй вариант сварного вала с сечением в виде кольца и дефектами в виде наружной трещины (непровара) глубиной δ ; причем $0 < \delta < \frac{D-d}{2}$. На рисунке 4 показана система линий разрыва для данного сечения.

Пунктиром проведена кривая, эквидистантная к внешнему контуру. На рис. 5 приведены два сечения фигуры равного ската.

Сравнивая сечения на рисунках 3б и 5б, можно установить их полную идентичность. Таким образом, основное ослабление, вызванное внутренней или внешней трещиной, одинаковы, т. е.

$$V_1 = V_1'; \quad V_2 = V_2'.$$

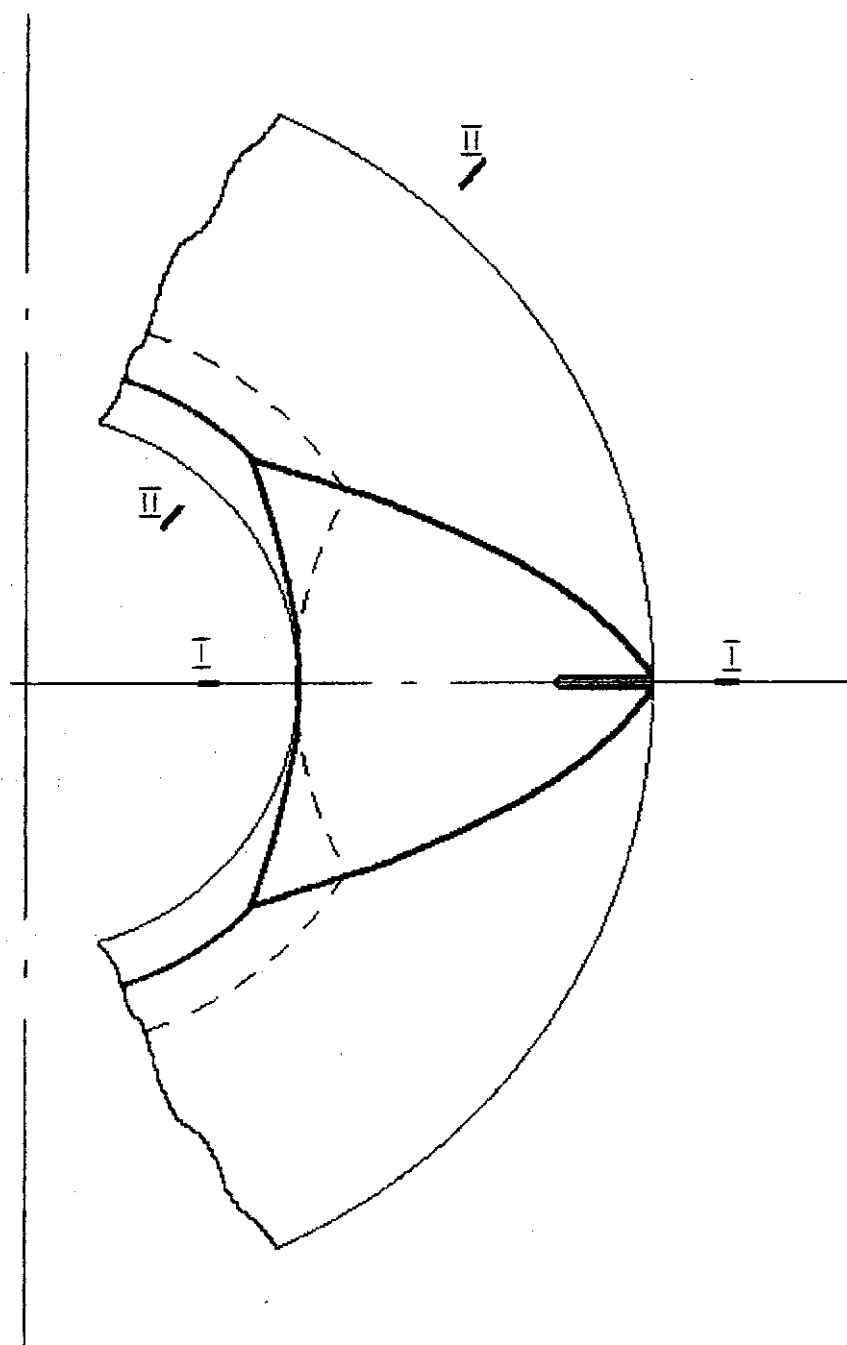
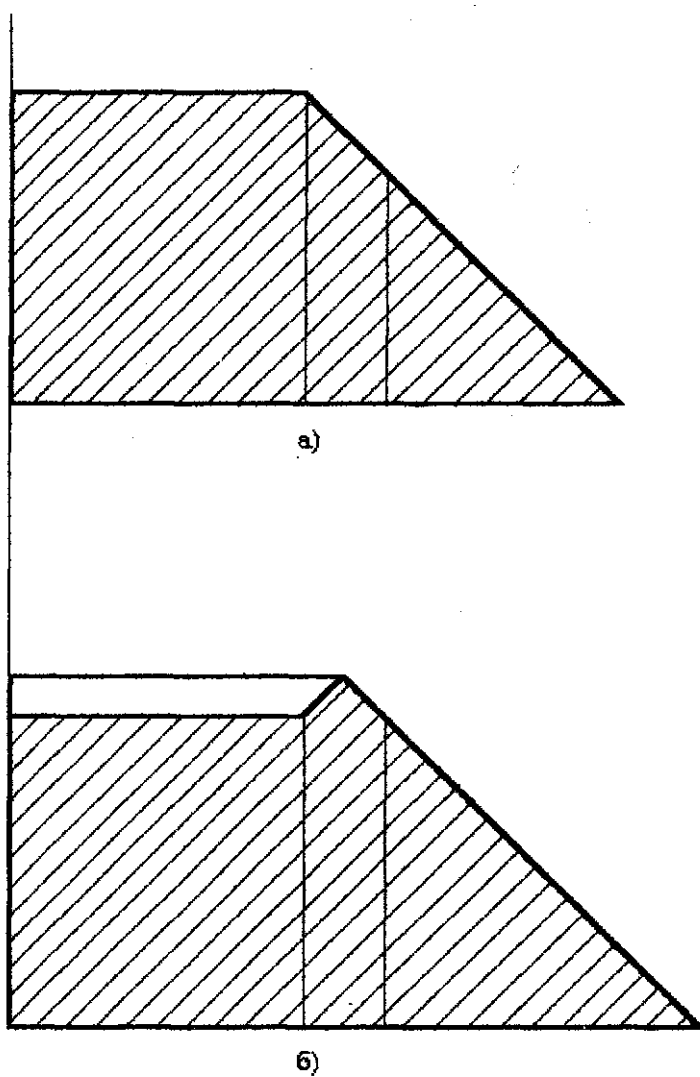


Рисунок 4 – Вал с внешним разрезом



- а) для сечения I-I (рис. 4);
 б) для сечения II-II (рис. 4).

Рисунок 5 – Поперечное сечение фигур равного ската.

Ослабление, вызванное потерей объема, V_3' больше, чем в предыдущем случае, т.е. $V_3' > V_3$.

Эта разница тем существенней, чем толще труба и чем меньше трещина.

Точное значение V_3' может быть найдено известным методом, изложенным в работах [1, 2], однако выражение это будет громоздким.

Приближенное значение V_3' можно записать в виде:

$$V_3' = \delta^2(D - d - 2\delta) \quad (7)$$

Окончательно получим момент сопротивления пластичному кручению в виде

$$W_{пл.кр.} = \frac{\pi}{12}(D^3 - d^3) - \frac{\pi d \delta}{2} \left(d + \delta + \frac{4(D - d - 2\delta)\delta}{\pi d} \right) \quad (8)$$

В формуле (8) величины δ и $\frac{4(D - d - 2\delta)\delta}{\pi d}$ могут быть одного порядка.

рассмотрим еще один пример: $D = 250$ мм; $d = 290$ мм. $\delta = 3$ мм — трещина находится снаружи шва.

Тогда по формуле (8) получим:

$$W_{пл.кр.} = (1666 - 207,8 - 2,97 - 0,61), \text{ см}^3. \quad (9)$$

Общее ослабление сечения внешней трещиной составляет 12,7%, что очень близко к ослаблению внутренней трещиной. В данном случае вполне можно пренебречь последним слагаемым в формуле (8), а момент сопротивления определить по приближенной зависимости (6), величину же ослабления по формуле:

$$\xi = \frac{6d\delta(d + \delta)}{D^3 - d^3} \cdot 100\% \quad (10)$$

Для рассмотренных выше примеров:

$$\xi = \frac{6 \cdot 21 \cdot 0,3 \cdot (21 + 0,3)}{25^3 - 21^3} \cdot 100\% = 12,65\%.$$

Формула (10) очень проста и дает хорошие результаты.

Перечень ссылок.

1. Ободовский Б. А., Артюх Г. В. Определение предельного крутящего момента для прямого бруса с сечением в виде круга с выкружкой // Проблемы прочности-1971.-№2.-С. 106-108.
2. Артюх Г. В., Ободовский Б. А. Пластическое кручение брусев с поперечными сечениями в виде многосвязных областей // Проблемы прочности-1972-№4-с.116-118.
3. Ободовский Б. А., Артюх Г. В., Мазай В. 3. Пластическое кручение призматических брусев с тонким упрочняющим внешним слоем // Проблемы прочности.-1973.-№8.-С 88-90.